

# BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

**PRIORITY DOCUMENT**  
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH  
RULE 17.1(a) OR (b)



EP 03 14106

|       |             |
|-------|-------------|
| REC'D | 19 JAN 2004 |
| WIPO  | PCT         |

BEST AVAILABLE COPY

## Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

**Aktenzeichen:** 102 60 731.1

**Anmeldetag:** 23. Dezember 2002

**Anmelder/Inhaber:** Outokumpu Oyj, Espoo/FI

**Bezeichnung:** Verfahren und Anlage zur Wärmebehandlung von eisenoxidhaltigen Feststoffen

**IPC:** C 21 B, C 22 B

**Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.**

München, den 4. November 2003  
Deutsches Patent- und Markenamt  
Der Präsident  
Im Auftrag

Kohl

**VERFAHREN UND ANLAGE ZUR WÄRMEBEHANDLUNG  
VON EISENOXIDHALTIGEN FESTSTOFFEN**

5

**Technisches Gebiet**

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur insbesondere reduktiven Wärmebehandlung von eisenoxidhaltigen Feststoffen, bei dem feinkörnige Feststoffe in einem Reaktor mit Wirbelbett auf eine Temperatur von etwa 630° C erhitzt werden, sowie eine entsprechende Anlage.

Ein derartiges Verfahren und eine Anlage sind bspw. aus der DE 44 10 093 C1 bekannt, um eisenoxidhaltige Feststoffe, wie Eisenerze, Eisenerzkonzentrate oder dergl., zu reduzieren. Hierzu wird eisenoxidhaltiges Erz in den Wirbelschichtreaktor eingebracht und mit erwärmtem Reduktionsgas fluidisiert. Der Feststoff wird dabei von dem Gasstrom mitgerissen und in einem nachgeschalteten Abscheider von dem Abgas getrennt, um in den Reaktor zurückgeführt zu werden. Zur Weiterverarbeitung wird Feststoff aus dem unteren Bereich des Reaktors entnommen.

20

Diese Direktreduktion in dem Wirbelschichtreaktor bringt jedoch die Gefahr mit sich, dass über dem Verteilerrost (Gasverteiler), der üblicherweise zur Verteilung des Reduktionsgases eingesetzt wird, Übertemperaturen entstehen, da das Reduktionsgas zur Erwärmung der Feststoffe eine hohe Temperatur aufweist. Gleichzeitig werden die Wärme- und Stoffaustauschbedingungen aufgrund der nur begrenzten Feststoffverweilzeit von bspw. 20 Minuten und der nur mäßigen Relativgeschwindigkeiten zwischen Gas und Feststoff als unbefriedigend empfunden. Die zusätzliche Einspeisung von Abgasen einer nachgeschalteten Reduktionsstufe in den Reaktor machen es erforderlich, dass der Reaktor einen komplizierten Aufbau hat, bspw. mit einem um etwa 30 % reduzierten Durch-

messer im Bereich der Abgaseinleitung. Zudem werden die Gaszuführleitungen schräg angeschnitten, um ein Verstopfen der mit staubhaltigem (Sekundär-) Gas beaufschlagten Leitung zu verhindern und es zu ermöglichen, dass in die Leitung eingedrungener Feststoff in den Reaktor zurückfällt.

5

### Beschreibung der Erfindung

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es daher, bei der Wärmebehandlung von eisenoxidhaltigen Feststoffen die Wärme- und Stoffaustauschbedingungen zu verbessern.

10

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch ein Verfahren der eingangs genannten Art gelöst, bei dem ein erstes Gas oder Gasgemisch von unten durch wenigstens ein vorzugsweise zentral angeordnetes Gaszuführrohr (Zentralrohr) 15 in einen Wirbelmischkammerbereich des Reaktors eingeführt wird, wobei das Zentralrohr wenigstens teilweise von einer durch Zufuhr von Fluidisierungsgas fluidisierten, stationären Ringwirbelschicht umgeben wird, und bei dem die Gasgeschwindigkeiten des ersten Gases oder Gasgemisches sowie des Fluidisierungsgases für die Ringwirbelschicht derart eingestellt werden, dass die Partikel-Froude-Zahlen in dem Zentralrohr zwischen 1 und 100, in der Ringwirbelschicht zwischen 0,02 und 2 sowie in der Wirbelmischkammer zwischen 0,3 20 und 30 betragen.

20

25

Überraschenderweise lassen sich mit dem erfindungsgemäßen Verfahren bei der Wärmebehandlung die Vorteile einer stationären Wirbelschicht, wie ausreichend lange Feststoffverweilzeit, und die einer zirkulierenden Wirbelschicht, wie guter Stoff- und Wärmeaustausch, unter Vermeidung der Nachteile beider Systeme miteinander verbinden. Beim Passieren des oberen Bereichs des Zentralrohrs reißt das erste Gas bzw. Gasgemisch Feststoff aus dem ringförmigen stationären Wirbelbett, welches als Ringwirbelschicht bezeichnet wird, bis in die 30

Wirbelmischkammer mit, wobei sich aufgrund der hohen Geschwindigkeitsunterschiede zwischen Feststoff und erstem Gas eine intensiv durchmischte Suspension bildet und ein optimaler Wärme- und Stoffaustausch zwischen den beiden Phasen erreicht wird. Durch entsprechende Einstellung des Füllstandes

5 in der Ringwirbelschicht sowie der Gasgeschwindigkeiten des ersten Gases bzw. Gasgemisches und des Fluidisierungsgases kann die Feststoffbeladung der Suspension oberhalb des Mündungsbereiches des Zentralrohrs in weiten Bereichen variiert werden, so dass der Druckverlust des ersten Gases zwischen dem Mündungsbereich des Zentralrohrs und dem oberen Austritt der Wirbelmischkammer zwischen 1 mbar und 100 mbar liegen kann. Im Falle hoher Feststoffbeladungen der Suspension in der Wirbelmischkammer regnet ein Großteil der Feststoffe aus der Suspension aus und fällt in die Ringwirbelschicht zurück.

10 Diese Rückführung wird interne Feststoffrezirkulation genannt, wobei der in dieser internen Kreislaufströmung zirkulierende Feststoffstrom normalerweise bedeutend größer ist als die dem Reaktor von außen zugeführte Feststoffmenge. Der (geringere) Anteil an nicht ausfallendem Feststoff wird zusammen mit dem ersten Gas bzw. Gasgemisch aus der Wirbelmischkammer ausgetragen.

15 Die Verweilzeit des Feststoffs in dem Reaktor kann durch die Wahl von Höhe und Querschnittsfläche der Ringwirbelschicht in weiten Grenzen verändert und der angestrebten Wärmebehandlung angepasst werden. Aufgrund der hohen Feststoffbeladung einerseits und des guten Stoff- und Wärmeaustauschs andererseits kann das Entstehen von lokalen Temperaturspitzen in der Wirbelmischkammer vermieden werden. Der mit dem Gasstrom aus dem Reaktor ausgetragene Anteil an Feststoff wird dem Reaktor vollständig oder zumindest teilweise

20 wieder zurückgeführt, wobei die Rückführung zweckmäßigerweise in die statio-näre Wirbelschicht erfolgt. Der auf diese Weise in die Ringwirbelschicht zurück-geführte Feststoffmassenstrom liegt normalerweise in der gleichen Größenord-nung wie der dem Reaktor von außen zugeführte Feststoffmassenstrom. Abge-sehen von der hervorragenden Ausnutzung des Reduktionsgases besteht ein

25 weiterer Vorteil des erfindungsgemäßen Verfahrens in der Möglichkeit, durch

Änderung der Strömungsgeschwindigkeiten des ersten Gases bzw. Gasgemisches und des Fluidisierungsgases die Ausnutzung des Reduktionsgases und den Stoffdurchsatz schnell, einfach und zuverlässig den Anforderungen anzupassen. Weiter kann die Konstruktion des Reaktors vereinfacht werden, so dass  
5 dieser bspw. eine zylindrische Gestalt aufweist.

Um einen besonders effektiven Wärmeaustausch in der Wirbelmischkammer und eine ausreichende Verweilzeit in dem Reaktor sicherzustellen, werden die Gasgeschwindigkeiten des ersten Gasgemisches und des Fluidisierungsgases  
10 für das Wirbelbett vorzugsweise derart eingestellt, dass die dimensionslose Partikel-Froude-Zahlen ( $Fr_p$ ) in dem Zentralrohr 1,15 bis 20, insbesondere etwa 10,6, in der Ringwirbelschicht 0,115 bis 1,15, insbesondere etwa 0,28, und/oder in der Wirbelmischkammer 0,37 bis 3,7, insbesondere etwa 1,1, betragen. Dabei sind die Partikel-Froude-Zahlen jeweils nach der folgenden Gleichung definiert:

15

$$Fr_p = \frac{u}{\sqrt{\frac{(\rho_s - \rho_f) * d_p * g}{\rho_f}}}$$

mit

- 20       $u$       =      effektive Geschwindigkeit der Gasströmung in m/s  
         $\rho_s$       =      Dichte eines Feststoffpartikels in kg/m<sup>3</sup>  
         $\rho_f$       =      effektive Dichte des Fluidisierungsgases in kg/m<sup>3</sup>  
         $d_p$       =      mittlerer Durchmesser der beim Reaktorbetrieb vorliegenden Partikel des Reaktorinventars (bzw. der sich bildenden Teilchen) in m  
25       $g$       =      Gravitationskonstante in m/s<sup>2</sup>.

Bei der Anwendung dieser Gleichung gilt zu berücksichtigen, dass  $d_p$  nicht den mittleren Durchmesser ( $d_{50}$ ) des eingesetzten Materials bezeichnet, sondern

den mittleren Durchmesser des sich während des Betriebs des Reaktors bildenden Reaktorinventars, welcher von dem mittleren Durchmesser des eingesetzten Materials (Primärteilchen) signifikant abweichen kann. Auch aus sehr feinkörnigem Material mit einem mittleren Durchmesser von bspw. 3 bis 10 µm können sich bspw. während der Wärmebehandlung Teilchen (Sekundärteilchen) mit einem mittleren Durchmesser von 20 bis 30 µm bilden. Andererseits zerfallen manche Materialien, bspw. Erze, während der Wärmebehandlung.

In Weiterbildung des Erfindungsgedankens wird vorgeschlagen, den Füllstand an Feststoff in dem Reaktor so einzustellen, dass sich die Ringwirbelschicht zumindest teilweise um einige Zentimeter über das obere Mündungsende des Zentralrohrs hinaus erstreckt und somit ständig Feststoff in das erste Gas oder Gasgemisch eingetragen und von dem Gasstrom zu der oberhalb des Mündungsbereichs des Zentralrohres befindlichen Wirbelmischkammer mitgeführt wird. Auf diese Weise wird eine besonders hohe Feststoffbeladung der Suspension oberhalb des Mündungsbereiches des Zentralrohrs erreicht, die die Austauschbedingungen zwischen Gas und Feststoff verbessert.

Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren können alle Arten von eisenoxidhaltigen Erzen, insbesondere Eisenerze oder Eisenerzkonzentrate, effektiv wärmebehandelt werden.

Die Erzeugung der für den Reaktorbetrieb notwendigen Wärmemenge kann auf jede dem Fachmann zu diesem Zweck bekannte Weise erfolgen.

Gemäß einer besonderen Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist vorgesehen, dem Reaktor vorgewärmtes Reduktionsgas zur Fluidisierung zuzuführen, das den ggf. ebenfalls vorgewärmten Feststoff reduziert. Die Reaktortemperatur liegt dabei bspw. unterhalb der Temperatur der in den Reaktor eintreten-

den Stoffströme. Als Reduktionsgas eignet sich dabei insbesondere Gas mit einem Wasserstoffgehalt von wenigstens 80 %, vorzugsweise mit über 90 %.

Der Verbrauch an frischem Reduktionsgas kann erheblich gesenkt werden,  
5 wenn das Reduktionsgas in einer dem Reaktor nachgeschalteten Wiederaufbereitungsstufe gereinigt und anschließend dem Reaktor wieder zugeleitet wird.

Bei der Wiederaufbereitung wird das Gas zunächst von Feststoffen getrennt, ggf. durch einen Wäscher geleitet und unter den Taupunkt des Wasserdampfes abgekühlt, so dass der Wasserdampfgehalt verringert werden kann, dann verdichtet und mit frischem Wasserstoff angereichert.

In Weiterbildung der Erfindung wird vorgeschlagen, einen Teil des Energiebedarfs des Reaktors durch Zufuhr von Abgasen aus einem nachgeschalteten Reaktor, bspw. einem weiteren Reduktionsreaktor, welches ggf. noch Reduktionsgas enthält, abzudecken. So kann der notwendige Bedarf an frischem Reduktionsgas und an Brennstoff deutlich gesenkt werden. Vorzugsweise wird das Abgas dem Reaktor über das Zentralrohr zugeführt, während aufbereitetes Reduktionsgas zweckmäßigerweise durch eine Leitung als Fluidisierungsgas in die Ringwirbelschicht eingeführt wird.

Eine erfindungsgemäße Anlage, welche insbesondere zur Durchführung des zuvor beschriebenen Verfahrens geeignet ist, weist einen als Wirbelschichtreaktor ausgebildeten Reaktor zur insbesondere reduktiven Wärmebehandlung von eisenoxidhaltigen Feststoffen auf, wobei der Reaktor ein Gaszuführungssystem aufweist, welches derart ausgebildet ist, dass durch das Gaszuführungssystem strömendes Gas Feststoff aus einer stationären Ringwirbelschicht, die das Gaszuführungssystem wenigstens teilweise umgibt, in die Wirbelmischkammer mitreißt. Vorzugsweise erstreckt sich dieses Gaszuführungssystem bis in die Wirbelmischkammer. Es ist jedoch auch möglich, das Gaszuführungssystem

25 unterhalb der Oberfläche der Ringwirbelschicht enden zu lassen. Das Gas wird  
30

dann bspw. über seitliche Öffnungen in die Ringwirbelschicht eingebracht, wobei es aufgrund seiner Strömungsgeschwindigkeit Feststoff aus der Ringwirbelschicht in die Wirbelmischkammer mitreißt.

- 5      Gemäß einer bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung weist das Gaszuführungssystem ein sich vom unteren Bereich des Reaktors aus im Wesentlichen vertikal nach oben bis in die Wirbelmischkammer des Reaktors erstreckendes Zentralrohr auf, welches wenigstens teilweise von einer Kammer umgeben ist, in der die stationäre Ringwirbelschicht ausgebildet ist. Die Ringwirbelschicht muss dabei nicht kreisringförmig gestaltet sein, vielmehr sind auch andere Ausgestaltungen der Ringwirbelschicht in Abhängigkeit der Geometrie des Zentralrohres und des Reaktors möglich, solange das Zentralrohr wenigstens teilweise von der Ringwirbelschicht umgeben wird. Selbstverständlich können in dem Reaktor auch zwei oder mehr Zentralrohre mit unterschiedlichen oder gleichen Ausmaßen vorgesehen sein. Vorzugsweise ist jedoch wenigstens eines der Zentralrohre, bezogen auf die Querschnittsfläche des Reaktors, in etwa mittig angeordnet.
- 10
- 15

20     Gemäß einer weiteren Ausführungsform der vorliegenden Erfindung weist das Zentralrohr an seiner Mantelfläche Öffnungen, bspw. in Form von Schlitzen, auf, so dass während des Reaktorbetriebs ständig Feststoff über die Öffnungen in das Zentralrohr gelangt und durch das erste Gas oder Gasgemisch von dem Zentralrohr bis in die Wirbelmischkammer mitgeführt wird.

- 25     Nach einer bevorzugten Ausführungsform ist dem Reaktor ein Abscheider, bspw. ein Zyklon, zur Abtrennung von Feststoffen nachgeschaltet, wobei der Abscheider eine zu der Ringwirbelschicht des ersten Reaktors führende Feststoffleitung aufweist.

- 30     Um eine zuverlässige Fluidisierung des Feststoffs und die Ausbildung einer stationären Wirbelschicht zu ermöglichen, ist in der ringförmigen Kammer des

Reaktors ein Gasverteiler vorgesehen, welcher die Kammer in einen oberen Wirbelbettbereich und eine untere Gasverteilerkammer unterteilt. Die Gasverteilerkammer ist mit einer Zuführleitung für Fluidisierungsgas verbunden. Anstelle der Gasverteilerkammer kann auch ein aus Rohren aufgebauter Gasverteiler verwendet werden.

Der Energiebedarf der Anlage kann dadurch reduziert werden, dass der Reaktor eine zu dem Zentralrohr führende Zuführleitung für wasserstoffhaltiges Reduktionsgas aufweist, die z.B. mit dem Abgasauslass eines Abscheiders eines dem Reaktor nachgeschalteten weiteren Reaktors verbunden ist. Alternativ oder zusätzlich hierzu kann eine in bzw. zu der ringförmigen Kammer führende Zuführleitung für vorgewärmtes wasserstoffhaltiges Reduktionsgas in der erfindungsgemäßen Anlage vorgesehen sein.

Um die technisch handhabbaren Höchsttemperaturen der in der Anlage eingesetzten Gase nicht zu überschreiten, wird es bevorzugt, wenn die für die Wärmebehandlung erforderliche Energie nicht ausschließlich über die Gase in den Reaktor eingebracht wird. Hierzu kann dem Reaktor eine Vorwärmstufe für die Feststoffe vorgeschaltet sein, so dass diese bereits vorgewärmt in den Reaktor geleitet werden. Vorzugsweise liegt die Temperatur der in den Reaktor eingebrachten Feststoffe über der Reaktortemperatur.

In der Ringwirbelschicht und/oder der Wirbelmischkammer des Reaktors können erfindungsgemäß Einrichtungen zum Umlenken der Feststoff- und/oder Fluidströme vorgesehen sein. So ist es bspw. möglich, ein ringförmiges Wehr, dessen Durchmesser zwischen dem des Zentralrohrs und dem der Reaktorwand liegt, derart in der Ringwirbelschicht zu positionieren, dass die Oberkante des Wehrs über das sich im Betrieb einstellende Feststoffniveau ragt, während die Unterkante des Wehrs im Abstand zu dem Gasverteiler oder dgl. angeordnet ist. Feststoffe, die in der Nähe der Reaktorwand aus der Wirbelmischkammer aus-

regnen, müssen so zunächst das Wehr an dessen Unterkante passieren, bevor sie von der Gasströmung des Zentralrohrs wieder in die Wirbelmischkammer mitgerissen werden können. Auf diese Weise wird ein Feststoffaustausch in der Ringwirbelschicht erzwungen, so dass sich eine gleichmäßige Verweilzeit des  
5 Feststoffs in der Ringwirbelschicht einstellt.

Die Erfindung wird nachfolgend anhand eines Ausführungsbeispiels und der Zeichnung näher beschrieben. Dabei bilden alle beschriebenen und/oder bildlich dargestellten Merkmale für sich oder in beliebiger Kombination den Gegenstand  
10 der Erfindung, unabhängig von ihrer Zusammenfassung in den Ansprüchen oder deren Rückbeziehung.

#### Kurzbeschreibung der Zeichnungen

15 Fig. 1 zeigt ein Prozessdiagramm eines Verfahrens und einer Anlage gemäß eines Ausführungsbeispiels der vorliegenden Erfindung und

Fig. 2 zeigt in Vergrößerung ein Detail von Fig. 1.

#### Detaillierte Beschreibung der bevorzugten Ausführungsformen

Bei dem in Figur 1 dargestellten Verfahren, welches insbesondere zur Wärmebehandlung eisenoxidhaltiger Feststoffe geeignet ist, wird, wie in der vergrößerten Darstellung von Figur 2 ersichtlich, in einen Reaktor 1 über eine Zuführleitung 2 ein Feststoff eingebracht. Der bspw. zylindrische Reaktor 1 weist ein  
25 etwa koaxial mit der Längsachse des Reaktors angeordnetes Zentralrohr 3 auf, welches sich vom Boden des Reaktors 1 aus im Wesentlichen vertikal nach oben erstreckt.

30 Im Bereich des Bodens des Reaktors 1 ist eine ringförmige Gasverteilerkammer

4 vorgesehen, die nach oben durch einen Durchtrittsöffnungen aufweisenden Gasverteiler 5 abgeschlossen wird. In die Gasverteilerkammer 4 mündet eine Zuführleitung 6.

- 5 In dem vertikal oberen Bereich des Reaktors 1, der eine Wirbelmischkammer 7 bildet, ist eine Ausbringleitung 8 angeordnet, die in einen als Zyklon ausgebildeten Abscheider 9 mündet.

Wird nun ein Feststoff über die Zuführleitung 2 in den Reaktor 1 eingebracht, bildet sich auf dem Gasverteiler 5 eine das Zentralrohr 3 ringförmig umgebende Schicht aus, die als Ringwirbelschicht 10 bezeichnet wird. Durch die Zuführleitung 6 in die Gasverteilerkammer 4 eingeleitetes Fluidisierungsgas strömt durch den Gasverteiler 5 und fluidisiert die Ringwirbelschicht 10, so dass sich ein stationäres Wirbelbett ausbildet. Die Geschwindigkeit der dem Reaktor 1 über die Gasverteilerkammer 4 zugeführten Gase wird dabei so eingestellt, dass die Partikel-Froude-Zahl in der Ringwirbelschicht 10 etwa 0,28 beträgt.

Durch die Zufuhr von weiterem Feststoff in die Ringwirbelschicht 10 steigt das Feststoff-Niveau 11 in dem Reaktor 1 so weit an, dass Feststoff in die Mündung des Zentralrohres 3 gelangt. Durch das Zentralrohr 3 wird gleichzeitig ein Gas oder Gasgemisch in den Reaktor 1 eingeleitet. Die Geschwindigkeit des dem Reaktor 1 zugeführten Gases wird vorzugsweise so eingestellt, dass die Partikel-Froude-Zahl in dem Zentralrohr 3 etwa 10,6 und in der Wirbelmischkammer 7 etwa 1,1 beträgt. Aufgrund dieser hohen Gasgeschwindigkeiten reißt das durch das Zentralrohr 3 strömende Gas beim Passieren des oberen Mündungsbereichs Feststoff aus der stationären Ringwirbelschicht 10 in die Wirbelmischkammer 7 mit.

Durch die Überhöhung des Niveaus 11 der Ringwirbelschicht 10 gegenüber der Oberkante des Zentralrohres 3 läuft Feststoff über diese Kante in das Zentral-

rohr 3 hin über, wodurch sich eine intensiv durchmischte Suspension ausbildet. Die Oberkante des Zentralrohres 3 kann hierbei gerade, gewellt oder gezackt sein oder die Mantelfläche kann seitliche Eintrittsöffnungen aufweisen. Infolge der Verminderung der Strömungsgeschwindigkeit durch die Expansion des Gasstrahls und/oder durch Auftreffen auf eine der Reaktorwände verlieren die mitgerissenen Feststoffe rasch an Geschwindigkeit und fallen teilweise wieder in die Ringwirbelschicht 10 zurück. Der Anteil an nicht ausfallendem Feststoff wird zusammen mit dem Gasstrom über die Leitung 8 aus dem Reaktor 1 ausgetragen. Dabei stellt sich zwischen den Reaktorbereichen der stationären Ringwirbelschicht 10 und der Wirbelmischkammer 7 eine Feststoffkreislaufströmung ein, durch welche ein guter Wärmeaustausch gewährleistet wird. Vor der Weiterverarbeitung wird der über die Leitung 8 ausgetragene Feststoff in dem Zyklon 9 von den Gasen oder Gasgemischen getrennt.

Nach dem in Fig. 1 dargestellten Verfahren werden die feinkörnigen Feststoffe, wie beispielsweise Eisenerz, zunächst in eine Vorwärmstufe mit einem Venturi-vorwärmer 12 chargiert. Diesem ist ein Zyklon 13 nachgeschaltet, in welchem die Feststoffe von Abgas getrennt werden. Aus dem Zyklon 13 werden die Feststoffe einem weiteren Venturivorwärmer 14 zugeleitet. Diesem ist wiederum ein Zyklon 15 nachgeschaltet, in dem die Feststoffe von Abgas getrennt und über einen Bunker 16 und einen Schneckenförderer 17 über Leitung 2 dem Reaktor 1 zugeleitet werden.

Der Venturivorwärmer 14 wird zur Erhitzung der Feststoffe mit heißen Verbrennungsgasen aus einer Brennkammer 18 beaufschlagt, in welche über Leitung 19 Brennstoff und über Leitung 20 Verbrennungsluft zugeführt wird. Hierbei hat es sich als vorteilhaft erwiesen, die Verbrennung bei einem Druck von 0.8 bis 10 bar und bevorzugt bei Atmosphärendruck zu betreiben. Die in dem Zyklon 15 von den Feststoffen getrennten, noch immer heißen Abgase werden dem ersten Venturivorwärmer 12 zum Vorwärmen der Feststoffe zugeleitet. Nach der

Abscheidung der Feststoffe in dem Zyklon 13 wird das Abgas in einem Filter 21 gereinigt.

Die Feststoffe werden in dem Reaktor 1 einer Wärmebehandlung unterzogen,  
5 wobei durch Leitung 6 erwärmtes, reduzierendes Fluidisierungsgas in die sich  
ausbildende Ringwirbelschicht 10 eingeleitet wird. Gleichzeitig wird über das  
Zentralrohr 3 Abgas aus einer dem Reaktor 1 nachgeschalteten weiteren Re-  
duktionsstufe zugeleitet, so dass die Feststoffe in der oben beschriebenen  
Weise zum einen Teil in dem Reaktor 1 zirkulieren und zum anderen Teil über  
10 Leitung 8 aus dem Reaktor 1 ausgetragen und nach Abscheidung des Abgases  
in dem Zyklon 9 über Leitung 22 wieder der Ringwirbelschicht zugeführt werden.

Aus der Ringwirbelschicht 10 wird darüber hinaus ein Feststoffstrom aus dem  
Reaktor 1 abgezogen und einem nachgeschalteten Wirbelschichtreaktor 23  
15 zugeleitet. Der Wirbelschichtreaktor 23 weist eine klassische Wirbelschicht auf,  
in welche über die Leitungen 24 erwärmtes Fluidisierungsgas eingebracht wird.  
Über Leitung 25 werden dem Wirbelschichtreaktor 23 Feststoffe entnommen  
und beispielsweise einer Brikettieranlage 26 zugeleitet.

20 In einem Zyklon 27 werden die Abgase des Wirbelschichtreaktors 23 von Fest-  
stoffen getrennt, die in den Wirbelschichtreaktor 23 über Leitung 28 zurückge-  
führt werden. Die Abgase werden aus dem Zyklon 27 über Leitung 29 dem  
Zentralrohr 3 des Reaktors 1 zugeleitet.

25 Die in dem Zyklon 9 von den Feststoffen abgetrennten Abgase des Reaktors 1  
werden über Leitung 30 einer Wiederaufbereitung zugeführt. Zunächst werden  
die Abgase in einem Wärmetauscher 31 abgekühlt und in einen Wäscher 32  
geleitet. Dort wird das abgekühlte Gas unter den Taupunkt des Wasserdampfs  
weiter abgekühlt, so dass der Wasserdampfgehalt des Abgases weitgehend  
30 entfernt werden kann. Über Leitung 33 kann ein Teilstrom des Abgases aus

dem Kreislauf entfernt werden, um beispielsweise eine Anreicherung von Stickstoff in dem zirkulierenden Gas zu verhindern. In gleicher Weise kann über Leitung 34 frisches reduzierendes Gas zur Aufstärkung zugemischt werden. Das gereinigte Gas wird nun in Wärmetauscher 31 vorgewärmt und einem Aufheizer 35 zugeleitet. Das gereinigte heiße Reduktionsgas wird dann über die Leitungen 24 dem Wirbelschichtreaktor 23 und über Leitung 6 als Fluidisierungsgas dem Reaktor 1 zugeführt.

10 Im Folgenden wird die Erfindung anhand eines den Erfindungsgedanken demonstrierenden, diesen jedoch nicht einschränkenden Beispiels erläutert.

**Beispiel (Reduktion von eisenoxidhaltigem Eisenerz)**

15 In einer der Fig. 1 entsprechenden Anlage wurden dem Venturivorwärmer 12 61,2 t/h feuchtes Erz mit 7,8 % Feuchte zugeführt. Gleichzeitig wurden 1.500 Nm<sup>3</sup>/h Erdgas über Leitung 19 sowie 21.000 Nm<sup>3</sup>/h Luft über Leitung 20 in die Brennkammer 18 geleitet. Durch die Verbrennungsgase aus der Brennkammer 18 wurden die feuchten Erze in den beiden Venturivorwärmern 12 und 14 auf 20 500° C vorgewärmt. In dem Filter 21 wurden dabei 2,6 t/h Staub aus dem Abgas der Vorwärmstufe abgetrennt.

Über den Schneckenförderer 17 und Leitung 2 wurden dem Reaktor 1 54,2 t/h 25 vorgewärmtes Erz sowie über Leitung 6 reduzierendes Fluidisierungsgas enthalten

91 Vol.-% H<sub>2</sub>,  
0,6 Vol.-% H<sub>2</sub>O und  
8,4 Vol.-% N<sub>2</sub>

30 zugeleitet. Die Reduktionstemperatur in dem Reaktor 1, der einen Durchmesser

von 3 m hatte, betrug etwa  $630^{\circ}$  C. Der Druck am Austritt aus dem Reaktor 1 betrug 4 bar.

Aus dem Reaktor 1 wurden 40,6 t/h vorreduziertes Material mit 70 % Metallisierungsgrad in den Wirbelschichtreaktor 23 geleitet. Dieser hatte eine Länge von 12 m und eine Breite von 4 m. Dem Wirbelschichtreaktor 23 wurde über Leitungen 24 vorgewärmtes reduzierendes Fluidisierungsgas enthaltend

10 91 Vol.-% H<sub>2</sub>,  
0,6 Vol.-% H<sub>2</sub>O und  
8,4 Vol.-% N<sub>2</sub>

zugeleitet.

15 Aus dem Wirbelschichtreaktor 23 wurden über Leitung 25 36,8 t/h Produkt mit einem Metallisierungsgrad von 92 % in die Brikettieranlage 26 geleitet und dort brikettiert. Das Produkt hatte dabei einen Kohlenstoffgehalt von 0,05 Gew.-%.

Über Leitung 30 wurden 182.000 Nm<sup>3</sup>/h Abgas enthaltend

20  
79 Vol.-% H<sub>2</sub>,  
12 Vol.-% H<sub>2</sub>O und  
9 Vol.-% N<sub>2</sub>

25 in den Wärmetauscher 31 geleitet und dort auf 120° C abgekühlt. In dem Wärmetauscher 32 wurde das Abgas weiter bis auf 28° C abgekühlt. Nach Zumischen von 23.000 Nm<sup>3</sup>/h Frischgas mit einem H<sub>2</sub>-Gehalt von 97 % über Leitung 34 wurde das Gas in dem Wärmetauscher 31 auf 520° C aufgeheizt. Nach weiterer Aufheizung in dem Aufheizer 35 wurden 70 % des Gases in den Wirbelschichtreaktor 23 und die restlichen 30 % des Gases in Reaktor 1 geleitet.

**Bezugszeichenliste:**

25

|    |    |                              |    |                          |
|----|----|------------------------------|----|--------------------------|
| 5  | 1  | Reaktor                      | 19 | Leitung                  |
|    | 2  | Zuführleitung                | 20 | Leitung                  |
|    | 3  | Zentralrohr                  | 21 | Filter                   |
|    | 4  | Gasverteilerkammer           | 30 | Feststoffrückführleitung |
|    | 5  | Gasverteiler                 | 22 | Wirbelschichtreaktor     |
| 10 | 6  | Zuführleitung                | 23 |                          |
|    | 7  | Wirbelmischkammer            | 24 | Leitung                  |
|    | 8  | Leitung                      | 25 | Leitung                  |
|    | 9  | Abscheider                   | 26 | Brikettieranlage         |
|    | 10 | Ringwirbelschicht            | 35 | Zyklon                   |
| 15 | 11 | Niveau der Ringwirbelschicht | 27 | Feststoffrückführleitung |
|    | 12 | Venturivorwärmer             | 28 |                          |
|    | 13 | Zyklon                       | 29 | Leitung                  |
|    | 14 | Venturivorwärmer             | 30 | Leitung                  |
|    | 15 | Zyklon                       | 31 | Wärmetauscher            |
| 20 | 16 | Bunker                       | 40 | 32 Wäscher               |
|    | 17 | Schneckenförderer            | 33 | Leitung                  |
|    | 18 | Brennkammer                  | 34 | Leitung                  |
|    |    |                              | 35 | Aufheizer                |

## Patentansprüche

- 5        1. Verfahren zur Wärmebehandlung von eisenoxidhaltigen Feststoffen, bei dem feinkörnige Feststoffe in einem Reaktor (1) mit Wirbelbett bei einer Temperatur von etwa 450 bis 950° C behandelt werden, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein erstes Gas oder Gasgemisch von unten durch ein vorzugsweise zentrales Gaszuführrohr (3) in einen Wirbelmischkammerbereich (7) des Reaktors (1) eingeführt wird, wobei das Gaszuführrohr (3) wenigstens teilweise von einer durch Zufuhr von Fluidisierungsgas fluidisierten, stationären Ringwirbelschicht (10) umgeben wird, und dass die Gasgeschwindigkeiten des ersten Gases oder Gasgemisches sowie des Fluidisierungsgases für die Ringwirbelschicht (10) derart eingestellt werden, dass die Partikel-Froude-Zahlen in dem Gaszuführrohr (3) zwischen 1 und 100, in der Ringwirbelschicht (10) zwischen 0,02 und 2 sowie in der Wirbelmischkammer (7) zwischen 0,3 und 30 betragen.
- 10      2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Partikel-Froude-Zahl in dem Gaszuführrohr (3) zwischen 1,15 und 20, insbesondere etwa 10,6, beträgt.
- 15      3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Partikel-Froude-Zahl in der Ringwirbelschicht (10) zwischen 0,115 und 1,15, insbesondere etwa 0,28, beträgt.
- 20      4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Partikel-Froude-Zahl in der Wirbelmischkammer (7) zwischen 0,37 und 3,7, insbesondere etwa 1,1, beträgt.

25

20. Dezember 2002

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Füllstand an Feststoff in dem Reaktor (1) so eingestellt wird, dass sich die Ringwirbelschicht (10) zumindest teilweise über das obere Mündungsende des Gaszuführrohres (3) hinaus erstreckt und dass ständig Feststoff in das erste Gas oder Gasgemisch eingetragen und von dem Gasstrom zu der oberhalb des Mündungsbereichs des Gaszuführrohres (3) befindlichen Wirbelmischkammer (7) mitgeführt wird.
10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass als Ausgangsmaterial eisenoxidhaltiges Erz, insbesondere Eisenerz oder Eisenerzkonzentrat, eingesetzt wird.
15. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das in die Ringwirbelschicht (10) des Reaktors (1) eingebrachte Fluidisierungsgas ein vorgewärmtes Reduktionsgas ist, welches wenigstens 80 %, insbesondere über 90 %, Wasserstoff enthält.
20. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass das Reduktionsgas in einer dem Reaktor (1) nachgeschalteten Wiederaufbereitungsstufe (31, 32, 33, 34, 35) gereinigt und anschließend dem Reaktor (1) wieder zugeleitet wird.
25. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass dem Reaktor (1) ein weiterer Reaktor (23) mit einer Wirbelschicht nachgeschaltet ist, dessen Abgase in einem Abscheider (27) von Feststoffen getrennt und in das Gaszuführrohr (3) des Reaktors (1) eingetragen werden.

10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass dem Reaktor (1) zumindest eine Vorwärmstufe (12, 13, 14, 15) zum Erwärmen der Feststoffe vorgeschaltet ist.
- 5      11. Anlage zur Wärmebehandlung von eisenoxidhaltigen Feststoffen, insbesondere zur Durchführung eines Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 10, mit einem als Wirbelschichtreaktor ausgebildeten Reaktor (1), **dadurch gekennzeichnet**, dass der Reaktor (1) ein Gaszuführungssystem aufweist, welches derart ausgebildet ist, dass durch das Gaszuführungssystem strömendes Gas Feststoff aus einer stationären Ringwirbelschicht (10), die das Gaszuführungssystem wenigstens teilweise umgibt, in die Wirbelmischkammer (7) mitreißt.
- 10     12. Anlage nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Gaszuführungssystem wenigstens ein sich vom unteren Bereich des Reaktors (1) aus im Wesentlichen vertikal nach oben bis in eine Wirbelmischkammer (7) des Reaktors (1) erstreckendes Gaszuführrohr (3) aufweist, wobei das Gaszuführrohr (3) wenigstens teilweise von einer ringförmigen Kammer, in der die statio-näre Ringwirbelschicht (10) ausgebildet ist, umgeben ist.
- 20     13. Anlage nach Anspruch 12, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Gaszuführrohr (3), bezogen auf die Querschnittsfläche des Reaktors (1), in etwa mittig angeordnet ist.
- 25     14. Anlage nach einem der Ansprüche 11 bis 13, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Gaszuführrohr (3) an seiner Mantelfläche Öffnungen, bspw. in Form von Schlitzten, aufweist.
- 30     15. Anlage nach einem der Ansprüche 11 bis 14, **dadurch gekennzeichnet**, dass dem Reaktor (1) ein Zyklon (9) zur Abtrennung von Feststoffen nachge-

schaltet ist, und dass der Zyklon (9) eine zu der Ringwirbelschicht (10) des Reaktors (1) führende Feststoffleitung (22) aufweist.

16. Anlage nach einem der Ansprüche 11 bis 15, **dadurch gekennzeichnet**, dass in der ringförmigen Kammer des Reaktors (1) ein Gasverteiler (5) vorgesehen ist, welcher die Kammer in einen oberen Wirbelbettbereich (10) und eine untere Gasverteilkammer (4) unterteilt, und dass die Gasverteilkammer (4) mit einer Zuführleitung (6) für Fluidisierungsgas verbunden ist.

10 17. Anlage nach einem der Ansprüche 11 bis 16, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Reaktor (1) eine zu dem Gaszuführrohr (3) führende Zuführleitung für wasserstoffhaltiges Reduktionsgas aufweist, die bspw. mit dem Abgasauslass eines Abscheiders (27) eines dem Reaktor (1) nachgeschalteten weiteren Reaktors (23) verbunden ist, und/oder eine zu der ringförmigen Kammer führende Zuführleitung für vorgewärmtes wasserstoffhaltiges Reduktionsgas aufweist.

15 18. Anlage nach einem der Ansprüche 11 bis 17, **dadurch gekennzeichnet**, dass dem Reaktor (1) eine Vorwärmstufe (12, 13, 14, 15) für die Feststoffe vorgeschaltet ist.

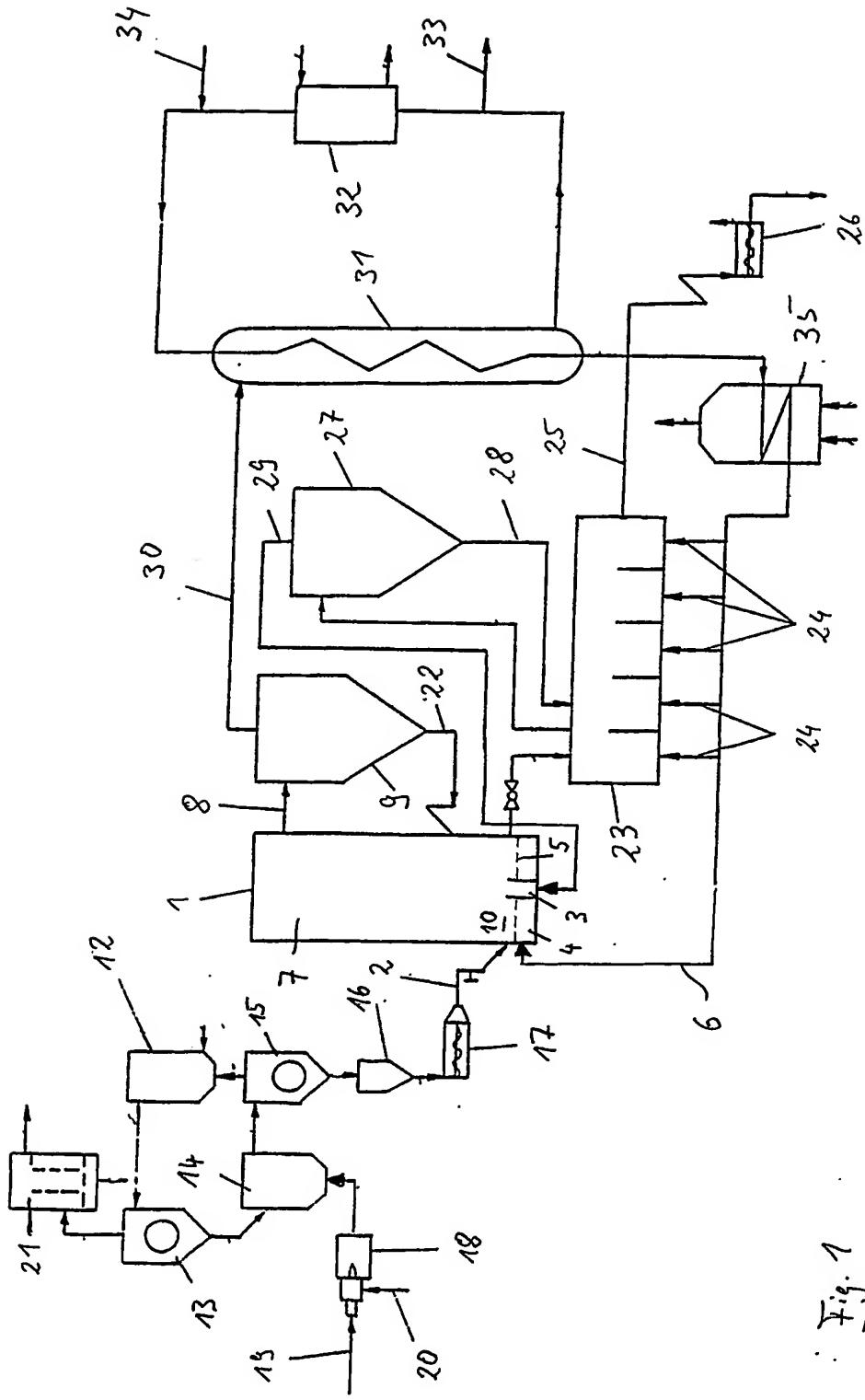
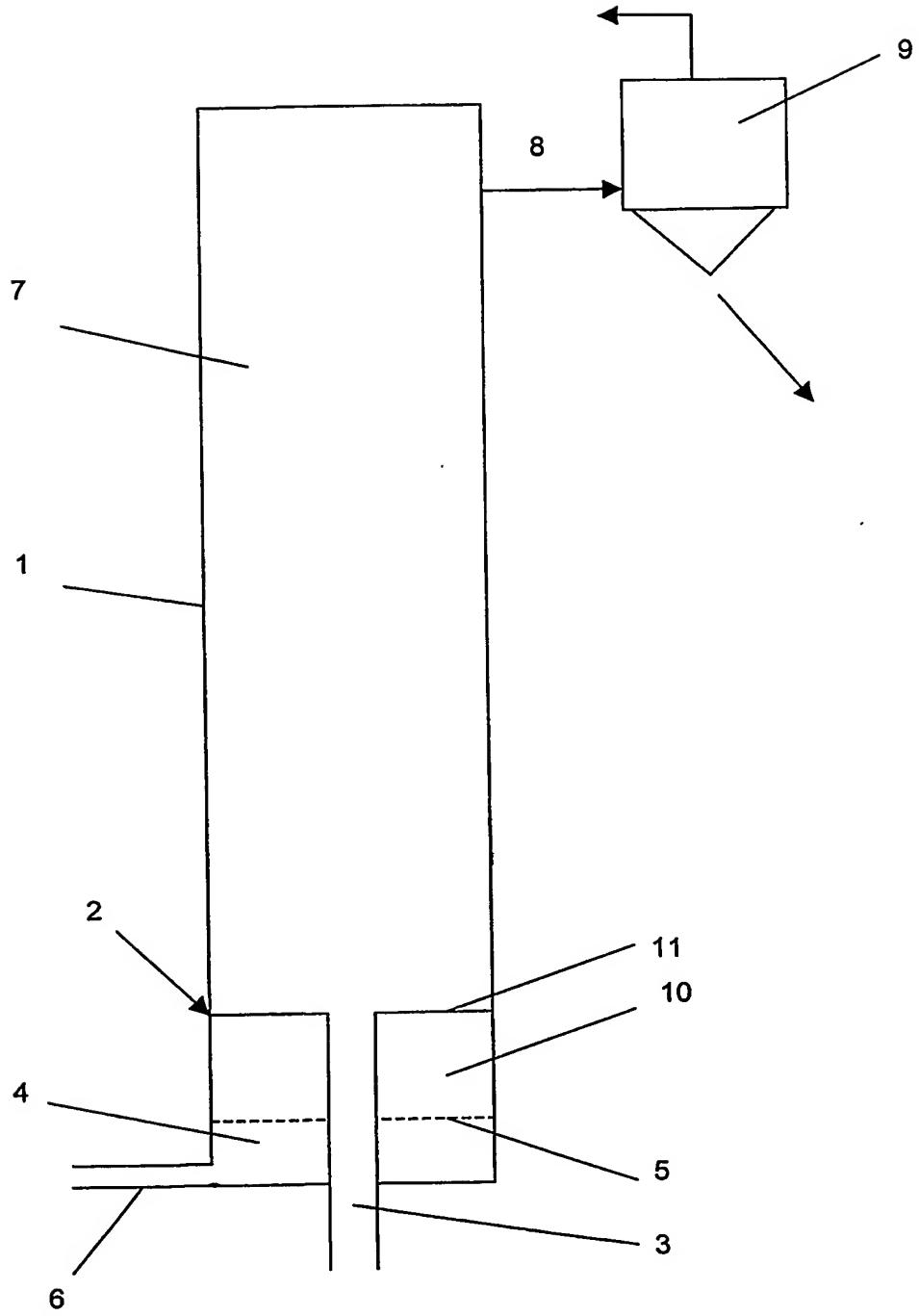


Fig. 1

Fig. 2

Otakumpu Oyj  
Riihitontie 7

02200 Espoo  
Finnland

Zusammenfassung:

**Verfahren und Anlage zur Wärmebehandlung von eisenoxidhaltigen Feststoffen**

Verfahren zur Wärmebehandlung von eisenoxidhaltigen Feststoffen, bei dem feinkörnige Feststoffe in einem Reaktor (1) mit Wirbelbett auf eine Temperatur von etwa 630° C erhitzt werden. Um die Energieausnutzung zu verbessern, wird vorgeschlagen, ein erstes Gas oder Gasgemisch von unten durch ein Gaszuführrohr (3) in eine Wirbelmischkammer (7) des Reaktors (1) einzuführen, wobei das Gaszuführrohr (3) wenigstens teilweise von einer durch Zufuhr von Fluidisierungsgas fluidisierten, statioären Ringwirbelschicht (10) umgeben wird. Die Gasgeschwindigkeiten des ersten Gases oder Gasgemisches sowie des Fluidisierungsgases für die Ringwirbelschicht (10) werden derart eingestellt, dass die Partikel-Froude-Zahlen in dem Gaszuführrohr (3) zwischen 1 und 100, in der Ringwirbelschicht (10) zwischen 0,02 und 2 und in der Wirbelmischkammer (7) zwischen 0,3 und 30 betragen. (Fig. 1)

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- BLACK BORDERS**
- IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- FADED TEXT OR DRAWING**
- BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- SKEWED/SLANTED IMAGES**
- COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- GRAY SCALE DOCUMENTS**
- LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- OTHER:** \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**